

補助事業番号 28-112
補助事業名 平成28年度 地下鉄用リニアモーターの高精度評価手法の構築補助事業
補助事業者名 宮崎大学工学教育研究部准教授 武居 周

1 研究の概要

本申請課題では、スーパーコンピュータを用いた大規模解析手法を適用することによって、リニアモーター内部と周辺の磁束密度を直接的かつ詳細に評価できる手法を開発します。本手法により高精度かつ高効率なリニアモーター設計が実現でき、計算科学分野の発展へ寄与し、かつ電気機器設計技術の向上に役立てます。スーパーコンピュータなどの並列計算機に適した有限要素法の並列化アルゴリズムとして知られている領域分割法において計算の精度・性能の両方の観点でボトルネックとなる領域間釣り合い問題の反復法の高性能化を中心に、リニアモーターの解析に向けた高性能電磁界解析コードを研究開発します。

2 研究の目的と背景

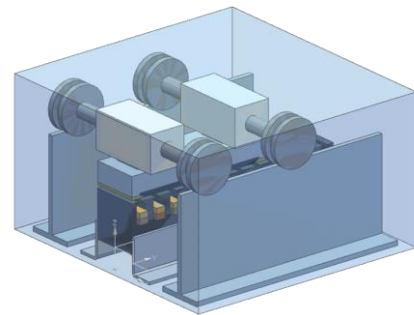
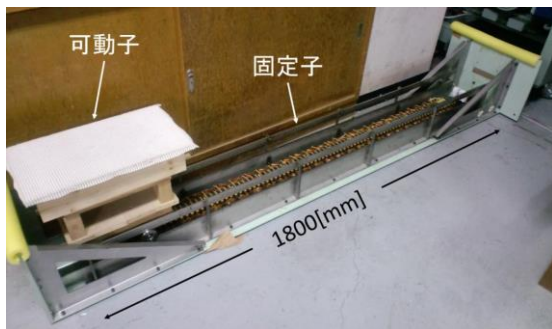
リニアモーターは、回転式モーターと比較して軸受や減速機が無く駆動系が小さいため、狭隘空間に利用でき、地下鉄のトンネル断面積を小さく建設することが可能です。そのため、リニア方式の地下鉄は予算や地形により地下鉄建設が困難であった都市にも導入できる大きな利点を有します。しかし、リニアモーターはコギングと呼ばれる動作ムラが大きく、走行精度が良くありません。また、リニアモーターは構造上磁束のもれが発生し、効率が低下するうえに、もれ磁束による電磁環境問題が生じます。したがって、リニアモーターの設計時に高精度に磁束密度を予測し、コギングおよびもれ磁束が最小になるような構造にすることが重要となります。磁束密度の予測は、実機を丸ごとモデル化した解析データを用いて数値シミュレーションによって行うことが理想ですが、ソフト、ハード双方の性能の限界によって、実際には簡略化された数値モデルを用いることがほとんどであり、再現性と質的精度を高める意味では、シミュレーション手法としての性能は不十分です。

そこで本研究では、実機に基づくCADモデルより生成した高精度メッシュと、実測により得られたコイル電流を入力データとして直接用いる並列有限要素電磁界によるリニアモーター内部および周辺の磁束密度の高精度な予測手法を提案することを目的とします。

3 研究内容

- (1) 領域分割法に擬似4倍精度を導入するリニアモーターの電磁界解析手法の
高性能化に関する研究

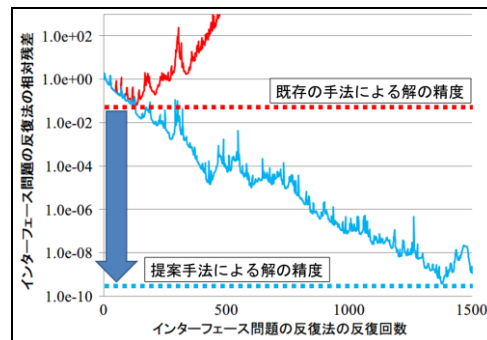
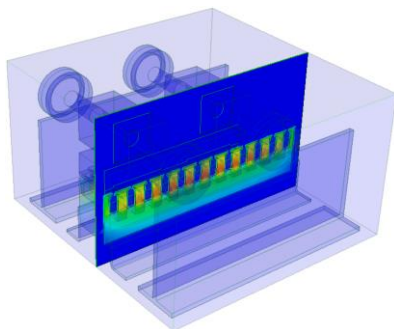
リニアモーターカーの高精度設計のために、まず、用いる数値電磁界解析手法の高性能化に取り組みました。数字電磁界解析手法はスーパーコンピュータなどの並列計算機上で動作させるため並列化されているが、数百～数千並列の高並列な計算においても高い並列化効率を得られる領域分割法を適用しています。領域分割法は部分領域の精度が高いほど計算のボトルネックとなる領域間釣り合い問題に対する反復法の収束性が向上します。そこで本研究では部分領域および領域間釣り合い問題それぞれの反復法に対して擬似4倍精度を導入しました。また、図1に示す実測に基づくリニアモーターカー数値モデルを構築し、高精度な解析手法の確立とそれによる高精度なリニアモーター設計手法の構築を目指します。



(a) リニアモーターカー実機 (苫小牧高専) (b) 実機を丸ごとモデル化した形状モデル
図1 リニアモーターカー実機に基づく数値モデルの構築

(2) 成 果

リニアモーターカーの規模電磁界解析が可能であることがわかりました。解析結果：渦電流分布の可視化結果を図2(a)に示します。領域分割型並列化手法に対して、部分領域問題の解法となる反復法と領域間の釣り合い問題の解法となる反復法に擬似4倍精度を導入した結果、図2(b)に示します通り、計算の主要となるインターフェース問題の収束性が大幅に改善しました。また、リニアモーターカーの解析を実施し、擬似4倍精度の導入により、より高精度な設計が可能となることがわかり、設計手法改善の可能性があることがわかりました。



(a) 渦電流密度分布の可視化結果 (b) 領域間釣り合い問題の収束性改善の様子
図2 リニアモーターカーの大規模電磁界解析

また、現在これらの研究成果について以下のURLで公開する準備を行っております。
<http://hamayu.emi.miyazaki-u.ac.jp/inve.html>

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

東京では都営地下鉄大江戸線、福岡では福岡市営地下鉄七隈線その他全国でリニアモーターの適用が広がりつつあります。リニアモーターはコギングなどの発生を抑制するための高精度設計手法が望まれ、本事業で実現した高精度解析手法の検討を今後継続して実施することによって、リニアモーターカーの乗り心地改善などに大きく寄与すると予想されます。

また、本事業を通してシミュレーションは、リニアモーター設計において設計精度を向上させるために有効な手法である見通しが立ちました。本事業において研究・開発しましたシミュレーション・システムは、リニアモーター設計の高精度・高確度化に寄与します。また、本システムにおける電磁界解析機能は、例えば回転機的设计等にも応用可能であり、電気機器設計分野において広く波及する可能性があります。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

代表者の専門領域は、主として大規模電磁界解析技術の研究・開発、およびその利用技術、電磁界理論等です。これまでの研究において培ってきた、スーパーコンピュータなどの高度な並列計算機を用いる高精度数値解析技術の実用問題への応用として、本事業における研究課題に取り組みました。本事業推進は、宮崎大学での課題演習、卒業研究等の教育活動へも深く関わっており、研究、教育、社会還元（シーズ創出を含む）がバランスよく実施できたと考えられます。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. T. Mizuma and A. Takei, “Improvement of Convergence Properties of an Interface Problem in Iterative Domain Decomposition Method Using Double-Double Precision,” Proceedings of The 34rd JSST Annual Conference: International Conference on Simulation Technology, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 27-29th, 2016, USB
2. 武居周, 水間健仁, 杉本振一郎, 榊井晃基, 荻野正雄, “部分領域反復解法に擬似4倍精度を用いたfull-wave電磁界解析,” 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J100-C, No.5, pp.182-191 (Aprl. 2017)

3. S. Sugimoto, A. Takei, M. Ogino, “Tens of billions complex DOF finite element analysis in high frequency electromagnetics,” JSME Mechanical Engineering Letters , Vol.3, p.16-0067 (2017), DOI: 10.1299/mel.16-00667.

4. 水間健仁, 上田茂太, 武居周, “擬似4倍精度を用いた反復型領域分割法による時間調和渦電流解析,” 日本シミュレーション学会論文誌, Vol.9, No.2, pp.19-26 (2017)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの
該当なし。

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの
該当なし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 宮崎大学工学部電気システム工学科 電磁情報学研究室（ミヤザキダイガクコウガクブデンキシステムコウガッカ）

住 所： 〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1

申 請 者： 准教授 武居周（タケイアマネ）

担 当 部 署： 宮崎大学工学部（ミヤザキダイガクコウガクブ）

E-mail： takei@cc.miyazaki-u.ac.jp

URL： <http://hamayu.emi.miyazaki-u.ac.jp/index.html>